

Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah

Volume: 14 No. 1, Juli 2020, Hal. 13 - 22

ISSN: 1907-6223 (print)

ISSN: 2579-3497 (Online)

<http://journal.umpo.ac.id/index.php/multitek>

SIMULASI OPTIMASI KAPASITAS PLTS ATAP UNTUK RUMAH TANGGA DI SURABAYA

Elieser Tarigan

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, dan Pusat Studi Lingkungan dan Energi Terbarukan (PuSLET),
Universitas Surabaya, Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya, 60292, Indonesia

Email: elieser@staff.ubaya.ac.id

Received: June 19, 2020. Accepted: July 20, 2020

ABSTRAK

Energi surya merupakan salah satu pilihan yang dapat digunakan untuk mengurangi pemakaian sumber energi fosil yang persediaannya semakin menipis serta pemanasan global yang ditimbulkan akibat pemakaiannya. Pemerintah Indonesia telah mengusahakan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) melalui berbagai kebijakan. Tulisan ini membahas optimasi kapasitas PLTS atap (*rooftop*) untuk sebuah rumah tangga mengacu pada kebijakan pemerintah tentang PLTS atap yang berlaku saat ini. Studi kasus dilakukan terhadap sebuah rumah dengan perkiraan beban PLN terpasang 2,2 kVA dan kebutuhan energi listrik sekitar 13 kWh/hari, yang berada di Surabaya. Energi keluaran system PLTS disimulasikan dengan software PVSpot dan SolarGIS. Untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga dalam studi kasus, sistem PLTS yang optimum adalah sekitar 3 kWp dengan sistem inverter yang sesuai. Energi keluaran rata-rata bulanan sistem PLTS tersebut adalah 350 kWh dengan rentang terendah dan tertinggi masing-masing 203 kWh dan 350 kWh per bulan. Energi tersebut dapat memenuhi 90% kebutuhan energi rumah yang disimulasikan.

Kata kunci: energi surya, sel surya, PLTS atap, rumah tangga, simulasi Pendulum

ABSTRACT

Solar energy is one of the options that can be exploited to reduce fossil-based fuel which its availability is limited and global warming impact of its use. The Government of Indonesia has been promoting solar electricity use through various policies. This paper discusses the optimum capacity of the solar rooftop PV system specifically for households based on the most recent The Government policy. A typical house with the grid capacity installed 2,2 kVA located in Surabaya is simulated. The daily energy demand of the house is about 13 kWh per day. Simulations were carried out using PVspot and SolarGIS. It is found that the optimum capacity of the rooftop PV system for the simulated house is 3 kWp with a suitable of the inverter system. The average energy output for such a system is 350 kWh per month, with minimum and maximum of 203 kWh and 350 kWh per month respectively. The system could provide 90% of electricity for the simulated household.

Keyword: Solar Energy, Solar Cells, Rooftop PV System, Household, Simulation

PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan aktivitas perekonomian dan perindustrian maka kebutuhan akan energi juga

semakin meningkat. Sumber energi utama hingga saat ini, khususnya di Indonesia adalah sumber energi yang berbasis fosil seperti minyak bumi, gas dan batu bara. Di lain pihak, sumber-sumber energi

fosil tersebut mempunyai ketersediaan yang terbatas dan naturnya tidak dapat diperbaharui. Disamping cadangannya semakin menipis, penggunaan energi fosil tersebut berdampak pada lingkungan yang kian hari semakin nyata, terutama pada efek pemanasan global dan perubahan iklim. Usaha untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan merupakan hal yang mutlak dilakukan untuk menjamin sustainability energi dan pembangunan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan Rencana Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan penggunaan energi terbarukan (bauran energi) sebesar 23% dari pada tahun 2025 [1]. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan. Energi surya yang tersedia dalam bentuk radiasi, dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi listrik melalui teknologi photovoltaic (PV) [2]–[4] atau sel surya.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah banyak dimanfaatkan diberbagai tempat. Sistem PLTS memerlukan area terbuka dan bebas dari benda atau bayangan yang menghalangi sinar matahari mengenai panel surya. Salah satu kendala dalam pemanfaatan PLTS, khususnya untuk daerah perkotaan adalah keterbatasan lahan untuk penempatan sistem panel surya [5]–[7]. Penggunaan atap bangunan merupakan salah satu solusi untuk keperluan penempatan panel surya tersebut. Pemerintah Indonesia sedang menggalakkan pemanfaatan PLTS atap, atau rooftop PV system yang memanfaatkan atap bangunan untuk pembangkit listrik [8][9].

Implementasi PLTS mestinya dimulai dari perencanaan, termasuk mengetahui data potensi penyinaran surya di lokasi dimana sistem PLTS hendak dibangun. Selain dari faktor besarnya instalasi, energi keluaran sistem PLTS sangat bergantung pada tingkat sinar matahari di area dimana sistem PLTS dibangun. [10].

Perhitungan dengan menggunakan sistem simulasi komputer pada umumnya dipakai untuk memperkirakan kinerja sistem PLTS sebelum

pemasangan. Simulasi dapat dilakukan untuk meminimalkan biaya komponen dan pemasangan PLTS [2]. Beberapa penelitian melaporkan studi sistem PLTS dengan sistem simulasi. Bergamasco dkk [11] melakukan studi potensi energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS beserta aplikasinya di daerah Pied-mont (Barat Laut Italia). Analisis data GIS yang tersedia digunakan untuk menghitung luas atap yang dapat digunakan untuk aplikasi sistem PLTS. Studi tentang potensi PLTS pada atap gedung di Ontario bagian tenggara dilaporkan oleh Wiginton dkk [12]. Dilaporkan bahwa langkah - langkah perhitungan potensi PLTS meliputi pengambilan sampel, pembagian wilayah secara geografis, menentukan hubungan antara luasan atap dan jumlah penduduk, mengurangi luasan atap yang tersedia dengan bagian yang tidak terkena sinar matahari atau dipakai untuk keperluan lain, dan konversi energi yang dihasilkan. Tahapan tersebut dapat dilakukan dengan simulasi. Vardimon [13] melakukan penelitian tentang area atap yang bermanfaat di Israel. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan orthoimages untuk mengekstrak gambar lapisan-lapisan gedung. Luasan atap yang tersedia dihitung dengan data GIS. Dilaporkan bahwa listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS atap ini per tahun setara dengan 32% konsumsi listrik tahunan di Israel.

Kebijakan implementasi tentang PLTS atap secara resmi dari pemerintah Indonesia masih relatif baru meski aplikasi PLTS sebenarnya sudah ada sejak beberapa tahun yang lalu. Kebijakan resmi pemerintah terbaru tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 tahun 2018 tentang PLTS atap yang saat ini berlaku. Dalam mengoptimalkan implementasinya maka perlu dilakukan studi, dan dapat dilakukan dengan metode simulasi terlebih dahulu

Salah satu target pengguna listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) saat ini yang menjadi harapan Pemerintah Indonesia untuk menggunakan sistem PLTS atap adalah sektor rumah tangga. Dari sisi pengguna sistem PLTS dibutuhkan perencanaan yang baik sebelum melakukan implementasi nyata. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan

gambaran penggunaan PLTS atap, khususnya untuk rumah tinggal, berdasarkan kebijakan yang berlaku saat ini. Studi dilakukan terhadap potensi radiasi surya, potensi energi yang dihasilkan dari sistem PLTS, serta gambaran kapasitas optimum sistem PLTS sistem on-grid untuk salah satu tipe rumah tinggal. Perhitungan dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat PVplanner dan PVspot, dengan mengambil kota Surabaya sebagai lokasi objek simulasi.

METODE PENELITIAN

Optimasi kapasitas sistem PLTS dilakukan untuk sebuah tipe rumah tinggal dengan kebutuhan listrik 13 kWh per hari. Secara umum rumah tinggal

seperti ini memiliki daya listrik PLN sekitar 2,2 kVA. Secara statistik rumah tinggal di Surabaya didominasi oleh pelanggan dengan besaran daya ini [14]. Hal tersebut menjadi pertimbangan dalam penentuan tipe rumah tinggal yang menjadi objek studi dalam penelitian ini.

Diasumsikan bahwa rumah tersebut memiliki 12 lampu untuk penerangan, dua unit AC untuk kamar tidur, dua kipas angin masing-masing di dapur dan kamar tamu, kulkas, *rice cooker*, dan elektronik lainnya. Detail peralatan listrik, rata-rata lama pemakaian, serta perkiraan kebutuhan energi untuk rumah tinggal dalam studi ini ditampilkan pada Tabel 1. Total kebutuhan energi harian adalah 13 kWh.

Tabel 1. Peralatan listrik dan kebutuhan energi harian rumah tangga

Alat listrik	Jumlah	Daya (W)	Lama Pemakaian rata-rata	Energi perhari (kWh)
AC	2	400	8	6,40
Lampu	12	10	8	0,96
Kulkas	1	80	24	1,92
Rice Cooker	1	300	4	1,20
Pompa air	1	300	2	0,60
TV	1	100	5	0,50
Mesin Cuci	1	500	1	0,50
Elektronik lainnya	-	-	-	0,92
TOTAL				13,00

Kebutuhan listrik rumah tangga dalam objek simulasi ini dipetakan sedemikian sehingga diperoleh pola pola konsumsi daya listrik harian. Pola kebutuhan daya listrik ini akan dibandingkan dengan pola daya keluaran sistem PLTS atap sehingga diperoleh gambaran pemakaian daya total dari *export* dan *import* ke dan dari jaringan PLN.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga tersebut diatas, maka dilakukan simulasi pemanfaatan PLTS atap serta mengoptimalkan kapasitasnya. Pertama-tama dilakukan kajian terhadap peraturan terbaru yang berlaku berkaitan

dengan PLTS atap, yakni Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) No.49 Tahun 2018 [9], khususnya yang berkaitan dengan PLTS atap untuk rumah tangga.

Simulasi sistem PLTS atap dilakukan dengan *software Solar GIS PV Planner* dan *PV spot*. Perangkat simulasi ini menyediakan sistem *assesment* berbasis *online*. Simulasi dilakukan oleh *software* secara numerik menggunakan data iklim 10 tahun terakhir [15] yang terekam pada stasiun pengukuran cuaca terdekat dengan lokasi yang disimulasikan.

Table 2. Para meter input untuk simulasi

Parameter	Input
Site name	Jawa Timur
Coordinates	07° 19' S, 112° 46' E
Elevation a.s.l.	3 m
Slope inclination	15°
Slope azimuth	90° North
Installed power	3 kWp
Type of modules	crystalline silicon (c-Si)
Mounting system	fixed mounting, free standing
Inverter Euro eff.	97.5%
DC / AC losses	5.5% / 1.5%
Availability	99.0%

Sistem PLTS atap yang terhubung dengan jaringan listrik PLN disimulasikan untuk memenuhi kebutuhan total untuk peralatan listrik sebagaimana terdapat pada Tabel 1. Posisi astronomis lokasi yang dipakai dalam simulasi adalah -7°19' lintang

Selatan dan :112°46' Busur Timur ; dengan ketinggian 3 m dari permukaan laut. Parameter input lainnya untuk simulasi sistem PLTS atap adalah seperti tertera pada Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aturan Pemerintah tentang PLTS Atap

Pemerintah Indonesia melalui kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah mengeluarkan aturan resmi dalam mengatur dan mendukung implementasi pemanfaatan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap atau *rooftop PV system*, yakni Peraturan Menteri ESDM

Nomor 49 tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) [16]. Kebijakan ini dimaksudkan untuk membuka kemungkinan konsumen PLN baik dari sektor bisnis, bisnis, industri, pemerintah maupun sosial untuk berkontribusi untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi, dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan khususnya energi surya.



Gambar 1. Prosedur permohonan pemasangan PLTS atap [17]

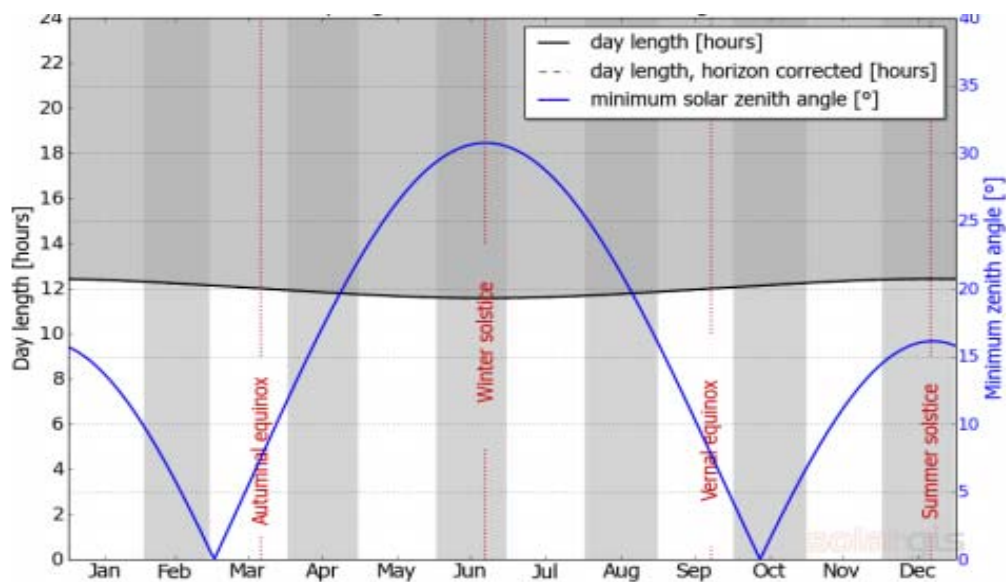
PLTS atap ini telah populer dan sedang berkembang pesat diberbagai negara [11], [17], [18]. Implementasi sistem atap cukup mudah, sederhana dan kapasitas yang mudah diatur sesuai ketersediaan luasan atap. Sistem pemasangan dilakukan dengan memasang panel surya pada atap bangunan dan dihubungkan secara *on grid*. Dalam peraturan tersebut telah diatur ketentuan umum, termasuk penggunaan sistem PLTS atap, pembangunan dan pemasangan, perhitungan ekspor dan impor energi listrik dari sistem PLTS atap, pelaporan, ketentuan peralihan, ketentuan lain. Kapasitas Sistem PLTS Atap dibatasi paling tinggi 100% dari daya tersambung. Pembatasan kapasitas ini dapat dikendalikan dengan kapasitas total inverter. Prosedur permohonan pemasangan sistem PLTS atap adalah seperti ditunjukkan pada diagram alur pada Gambar 1 .

Mengacu pada aturan tersebut diatas maka jika energi listrik yang diproduksi PLTS melebihi dari kebutuhan pelanggan, maka kelebihan akan di ekspor ke jaringan PLN, namun dihargai dengan faktor pengali 65%, dimana pelanggan bisa

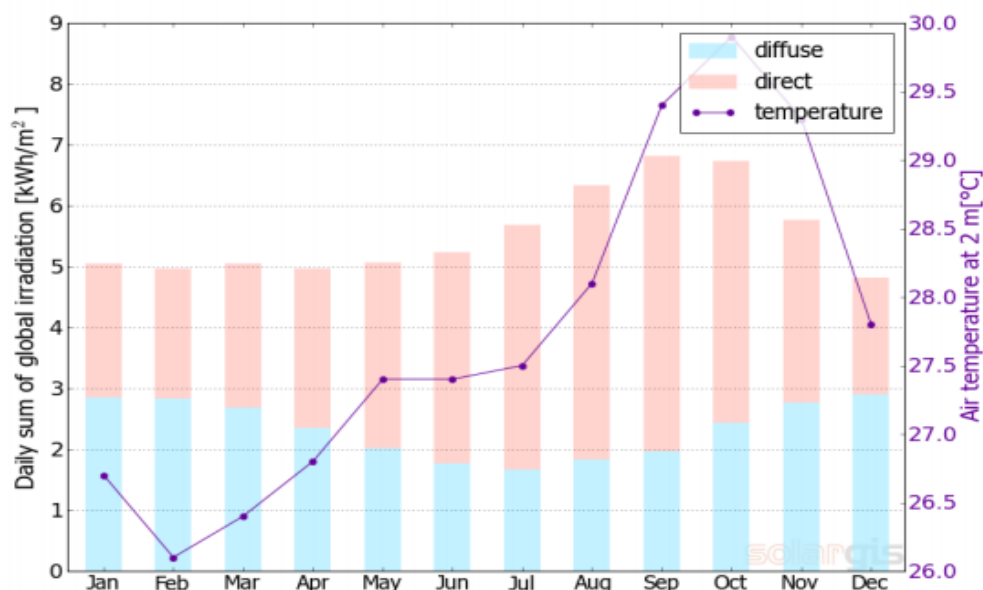
menggunakan deposit energi untuk mengurangi tagihan listrik bulan berikutnya. Dengan kondisi ini maka pelanggan dianjurkan untuk mengetahui kapasitas optimum yang seharusnya di pasang agar mendapatkan manfaat secara optiml, terutama dari sisi ekonomis dari kelebihan daya.

Potensi Energi Surya

Lamanya matahari bersinar (*day lenght*) sedikit bervariasi sepanjang tahun di Surabaya. Namun dikarenakan letak Surabaya, dan juga bagian lain wilayah Indonesia, berada di sekitar garis khatulistiwa maka lamanya matahari bersinar hampir merata 12 jam sepanjang tahun. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil simulasi yang ditampilkan pada diagram Gambar 2. Pada bulan Mei – Juli matahari bersinar sedikit kurang dari 12 jam, sebaliknya pada Desember – Februari tahun berikutnya, matahari bersinar lebih dari 12 jam. Sementara sudut zenith minimum (*minimum solar zenith angle*) ada pada kisaran 0° sampai dengan 30° .



Gambar 2. Lama penyinaran matahari (*day length*) dan *minimum solar zenith angle* di Surabaya

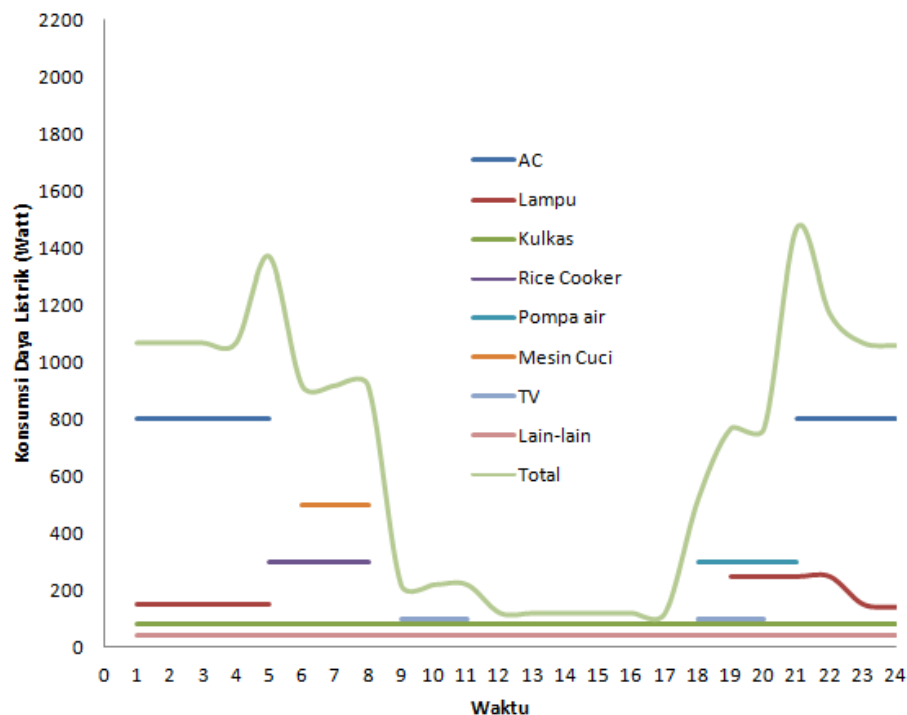


Gambar 3. Radiasi matahari global dan temperature udara in Surabaya

Radiasi matahari global (*Global horizontal irradiation*) and dan temperatur udara selama satu tahun dari hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 3. Komponen radiasi global terdiri dari radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi hamburan (*diffuse radiation*) and radiasi pantulan (*reflected radiation*). Dari simulasi ditemukan bahwa radiasi matahari global pada permukaan datar di Surabaya berada pada kisaran antara 4,82 kWh/hari.m² sampai 6,81 kWh/hari.m² dengan rata-rata 5,04 kWh/hari.m². Radiasi maksimum terjadi pada bulan september, dan radiasi minimum pada bulan Desember. Ditemukan juga bahwa komponen radiasi hamburan signifikan sepanjang tahun di

Surabaya, sementara komponen radiasi pantulan sangat kecil.

Radiasi global secara umum didapatkan maksimum pada saat musim kemarau, namun iklim pada tahun-tahun terakhir ini sukar diprediksi. Studi tentang hal ini perlu dilakukan, selain dalam kaitannya dengan keluaran energi sistem PLTS, juga kemungkinan kaitannya dengan proses perubahan iklim dan pemanasan global. Rata-rata radiasi matahari global serta temperatur udara setiap bulan sepanjang tahun di Surabaya ditampilkan pada Gambar 3. Temperatur udara di Surabaya berada pada kisaran 24 – 36 °C.



Gambar 4. Pola pemakaian daya listrik harian

Simulasi PLTS atap

Mengacu pada tipe rumah dengan peralatan listrik sebagaimana terdapat pada Tabel 1, diperkirakan pola konsumsi daya listrik selama 24 jam adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Konsumsi daya listrik relatif besar setelah jam 17.30 hingga jam 08.00 pagi. Hal tersebut dapat dimenegrti karena pada umumnya kegiatan di rumah dilakukan dalam rentang waktu tersebut. Sementara Jam 9.00 sampai dengan jam 17.00, konsumsi daya listrik relatif kecil, hanya untuk mensuplai beberapa peralatan listrik yang membutuhkan daya secara kontinue seperti kulkas dan alat listrik lainnya. Dalam kondisi normal kebutuhan daya maksimum adalah sekitar 1400 Watt, sementara kebutuhan listrik yang terbesar adalah untuk pendinginan udara (AC) dengan konsumsi energi 49% dari total kebutuhan energi.

Mengacu pada potensi energi surya di Surabaya, pola dan besaran konsumsi energi harian, serta aturan yang berlaku tentang PLTS atap maka dilakukan simulasi untuk kapasitas PLTS atap yang dapat mensuplai kebutuhan listrik. Hal lain yang juga menjadi pertimbangan penentuan kapasitas adalah besaran satuan atau unit kapasitas peralatan

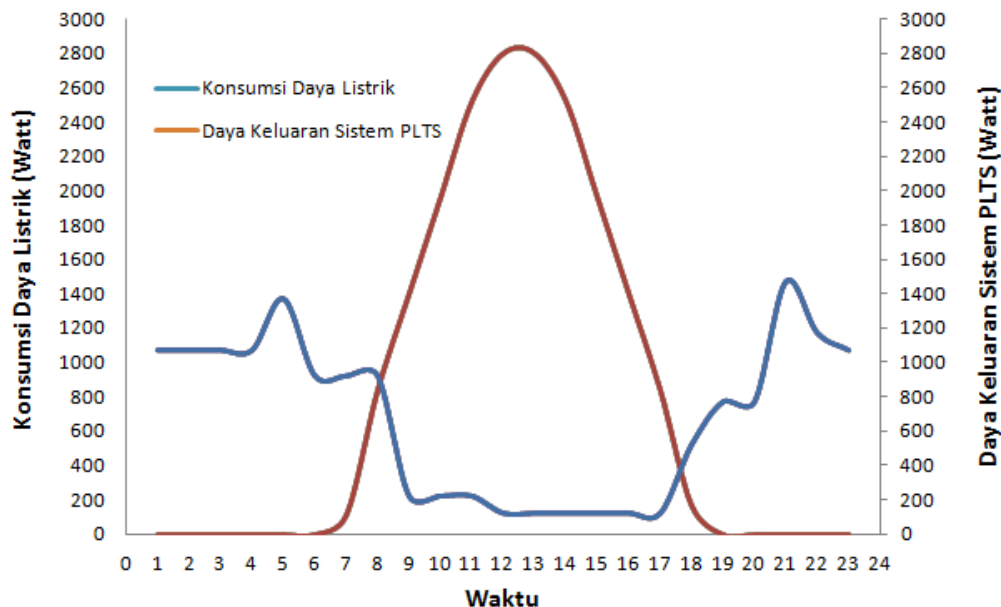
sistem PLTS khususnya inverter DC-AC. Dari survey pasar yang dilakukan dalam rangkaian penelitian ini ditemukan bahwa untuk keperluan PLTS *on grid*, inverter dengan sistem meteran listrik PLN export import, minimum kapasitas inverter yang tersedia adalah 3000 Watt. Sistem PLTS dengan kapasitas 3000Wp atau 3 kWp kemudian disimulasikan dalam studi ini.

Pada kondisi cuaca cerah, potensi energi surya di Surabaya sebagai mana telah dibahas sebelumnya, mencapai rata-rata 5,04 kWh/hari.m². Simulasi dan ekstrapolasi intensitas energi surya di Surabaya dan prediksi energi keluaran sistem PLTS dengan kapasitas 3 kWp untuk mendapatkan pada saat hari cerah dilakukan untuk mendapatkan gambaran pola daya sel surya dalam satu hari. Tentu saja dalam kondisi ril enegi keluaran akan bervariasi setiap hari bergantung pada berbagai faktor, seperti cuaca, awan, polusi udara dll.

Untuk kondisi ideal, perbandingan antara daya keluaran harian sistem PLTS dengan kapasitas 3 kWp dengan pola konsumsi listrik sebuah rumah tangga ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa daya listrik yang diproduksi dari PLTS sistem dari

jam 8.00 hingga 17.15 melebihi daya listrik yang dibutuhkan rumah. Dalam rentang waktu tersebut daya listrik PLTS akan di ekspor ke jaringan PLN dan akan tercatat sebagai daya export. Sementara

diluar rentang waktu tersebut (jam 7.15 sampai 8.00 hari berikutnya), listrik dari PLTS sangat minim bahkan nol pada malam hari, dilain pihak kebutuhan daya listrik maksimum pada saat itu.



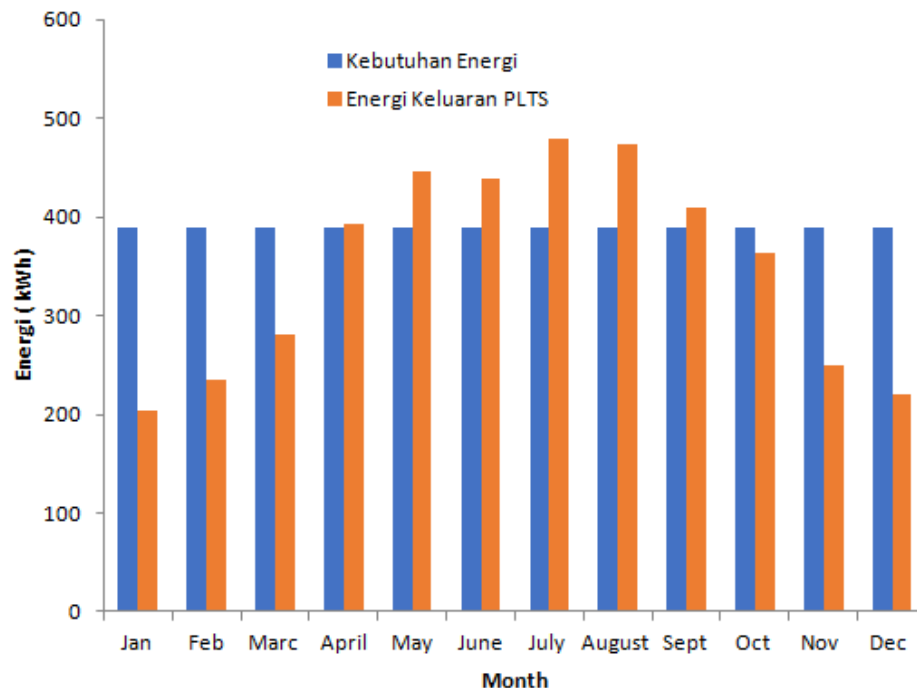
Gambar 5. Perbandingan pola pemakaian daya listrik harian dan daya keluaran sistem PLTS

Dalam hal ini daya listrik akan diimport dari jaringan PLN. Dalam sistem hitungan, sesuai dengan peraturan, maka tagihan listrik bulanan adalah selisih dari total export dan import dalam satu bulan. Pada kondisi ideal seperti pada Gambar 5 maka total energi yang dihasilkan dari PLTS atap adalah 13 kWh, nilai ini sama dengan kebutuhan listrik rumah dalam simulasi. Secara matematis dapat dibuktikan bahwa luasan daerah dibawah kurva konsumsi daya listrik dan kurva daya keluaran sistem PLTS selama 24 jam adalah sama.

Sebagaimana diketahui bahwa energi keluaran sel surya dipengaruhi oleh faktor cuaca dan iklim, namun hal tersebut telah dimasukkan dalam parameter simulasi, sehingga diharapkan hasil simulasi dapat mendekati kondisi sebenarnya. Simulasi sangat berguna untuk mengetahui perkiraan awal dari berbagai faktor terhadap energi keluaran sistem PLTS sebelum membangun sistem

yang sebenarnya. Perkiraan awal yang baik akan berdampak pada perkiraan biaya dan investasi.

Energi keluaran bulanan dari hasil simulasi terhadap sistem PLTS atap dengan kapasitas 3 kWp, dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik rumah adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Terlihat bahwa untuk bulan April sampai September, energi keluaran sistem PLTS melebihi kebutuhan rumah. Sementara, untuk bulan Oktober sampai dengan Maret konsumsi listrik melebihi produksi sistem PLTS. Hal tersebut dapat dipahami dimana bulan Oktober sampai Maret adalah musim hujan di Surabaya, sehingga energi keluaran sistem PLTS tidak sebesar musim kemarau. Secara total dalam satu tahun, energi keluaran sistem PLTS atap dengan kapasitas 3 kWp adalah 4200 kWh. Sementara energi yang dibutuhkan rumah tinggal dalam setahun adalah 4680 kWh atau sekitar 10% lebih tinggi dari energi keluaran sistem PLTS.



Gambar 6. Perbandingan konsumsi listrik bulanan dan energi keluaran sistem PLTS

KESIMPULAN

Mempertimbangkan aturan PLTS atap yang berlaku saat ini, termasuk nilai surplus export hanya 0.65% dari tarif import, serta ketersediaan unit inverter on-grid sistem PLTS, maka dapat disimpulkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan sebuah rumah di Surabaya yang memerlukan energi 13 kWh per hari, kapasitas maksimum dari PLTS atap yang diperlukan adalah 3 kWp. Total energi keluaran sistem PLTS tersebut adalah sekitar 4200 kWh dengan produksi tertinggi pada bulan juni dan juli dan terendah pada bulan Desember dan Januari. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan sistem PLTS atap 3 kWp hanya sekitar 10% kebutuhan energi selama satu tahun berasal dari PLN.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] K. ESDM, "Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)," 2016. .
- [2] E. Tarigan, Djuwari, and F. D. Kartikasari, "Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 65, pp. 90–99, 2015.
- [3] J. Sommerfeld, L. Buys, and D. Vine, "Residential consumers' experiences in the adoption and use of solar PV," *Energy Policy*, vol. 105, no. December 2016, pp. 10–16, 2017.
- [4] A. K. Shukla, K. Sudhakar, and P. Baredar, "Simulation and performance analysis of 110 kWp grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology," *Energy Reports*, vol. 2, pp. 82–88, 2016.
- [5] R. Rachchh, M. Kumar, and B. Tripathi, "Solar photovoltaic system design optimization by shading analysis to maximize energy generation from limited urban area," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 244–252, 2016.
- [6] S. Freitas, C. Catita, P. Redweik, and M. C. Brito, "Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 915–931, 2015.
- [7] I. Sukarno, H. Matsumoto, L. Susanti, and R. Kimura, "Urban Energy Consumption in a City of Indonesia: General Overview," *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 5, no. 1, pp. 360–373, 2015.

- [8] E. Hamdi, "Indonesia' s Solar Policies: Designed to Fail?," 2019.
- [9] Government of Indonesia, *Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap*. 2018.
- [10] P. Redweik, C. Catita, and M. Brito, "Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape," *Sol. Energy*, vol. 97, pp. 332–341, 2013.
- [11] L. Bergamasco and P. Asinari, "Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 1041–1055, 2011.
- [12] L. K. Wiginton, H. T. Nguyen, and J. M. Pearce, "Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy," *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 34, no. 4, pp. 345–357, 2010.
- [13] R. Vardimon, "Assessment of the potential for distributed photovoltaic electricity production in Israel," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 591–594, 2011.
- [14] BPS Kota Surabaya, "Kota Surabaya Dalam Angka 2019," 2019. .
- [15] Solargis.info, "SolarGIS PV Planner," *SolarGIS*, 2014. .
- [16] H. EBTKE, "Ekspor Impor Listrik Pelanggan PLTS Atap Mulai Berlaku 1 Januari 2019," 2018. .
- [17] A. Orioli and A. Di Gangi, "Review of the energy and economic parameters involved in the effectiveness of grid-connected PV systems installed in multi-storey buildings," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 955–969, 2014.
- [18] H. Outhred and M. Retnanestri, "Insights from the Experience with Solar Photovoltaic Systems in Australia and Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 65, pp. 121–130, 2015.